



FINAL PROJECT - TM 091486

**EXPERIMENTAL STUDY EFFECT OF ADDITION VOLUME
FRACTION Al_2O_3 ON ALUMINIUM TO HARDNESS AND
SPECIFIC WEAR RATE OF ALUMINIUM MATRIX
COMPOSITE**

KRISNA BILAL ARIEF
NRP 2109 100 108

Academic Supervisor
Indra Sidharta ST, .MSc

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME Al_2O_3 PADA
ALUMINIUM TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN
NILAI LAJU KEAUSAN PADA ALUMINIUM
*MATRIX COMPOSITE***

**KRISNA BILAL ARIEF
NRP 2109 100 108**

**Dosen Pembimbing
Indra Sidharta ST,.MSc**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME Al_2O_3 PADA
ALUMINIUM TERHADAP NILAI KEKERASAN
DAN NILAI LAJU KEAUSAN PADA ALUMINIUM
MATRIX COMPOSITE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Bidang
Metalurgi

Program Studi S-1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

KRISNA BILAL ARIEF

NRP. 2109100108

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Indra Sidharta, ST, MSc..... (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Soeharto, DEA..... (Penguji 1)
3. Dr. Sutikno, ST, MSc..... (Penguji 2)
4. Ir. Hari Subiyanto, MSc..... (Penguji 3)

**SURABAYA
JANUARI, 2015**

EXPERIMENTAL STUDY EFFECT OF ADDITION VOLUME FRACTION Al_2O_3 ON ALUMINIUM TO HARDNESS AND SPECIFIC WEAR RATE OF ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE

Student Name	: Krisna Bilal Arief
Student ID	: 2109 100 108
Department	: Mechanical Engineering
Academic Supervisor	: Indra Sidharta, ST , MSc

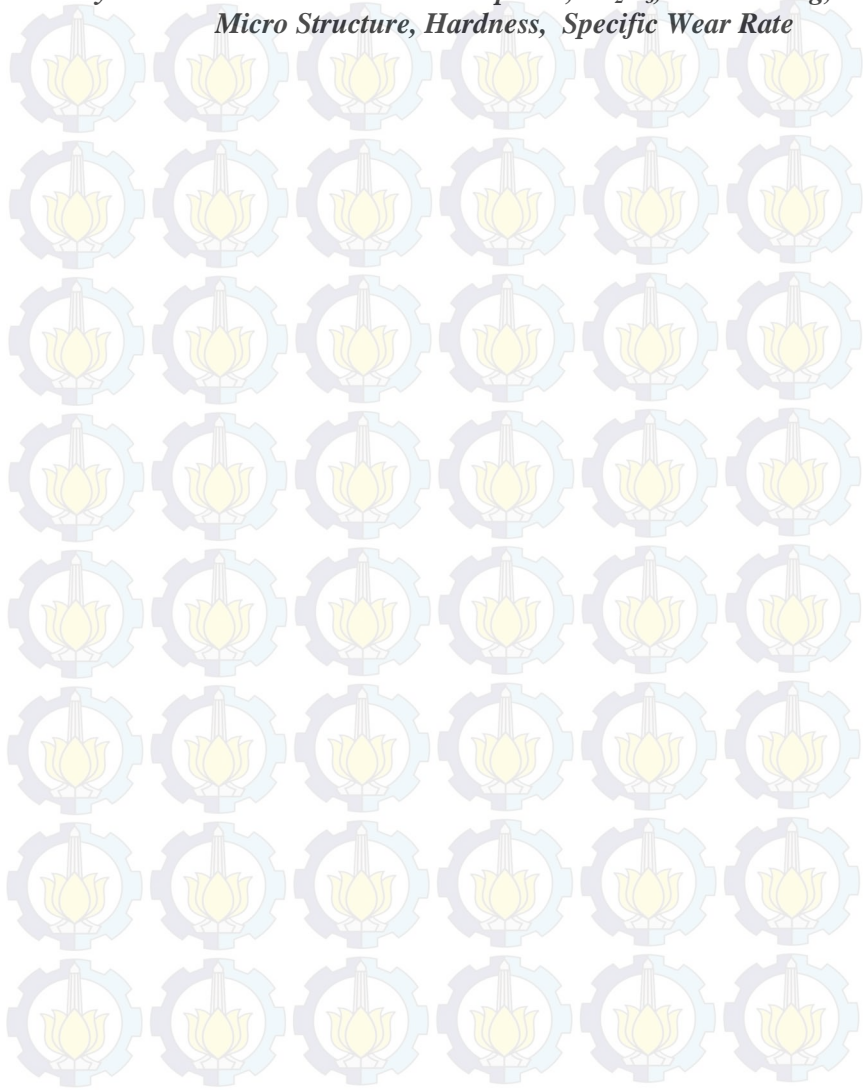
Abstract

Rapid development period needs of new materials preeminent. The materials used are required to have specific provisions to met the needs. The development of science and technology in composites could be an alternative for the problems that occurred, can meet the characteristics and mechanical properties as desired.

In this study, Aluminum melted in the furnace to a temperature of 900°C . Alumina as an reinforcement is added when the aluminum in the liquid state, and then stirred for 10 minutes at 300 rpm rotation. Aluminum matrix composites prepared by stir casting method. This experiment is for micro structure, hardness test and wear test.

The result is the hardness value increased by 20% and decreased at 25% volume fraction of alumina. The increasing of hardness value due to the insertion of alumina particles in an aluminum matrix, while decreasing the hardness value is caused by holes that ease dislocation. Value wear rate decreased to levels of 20% and increased the levels of 25% volume fraction of alumina. Decreasing specific wear rate caused the interface bonding formed between matrix and reinforcement. Increasing in value is due to the wear rate of alumina particles in spite of the aluminium matrix.

***Keyword: Aluminium Matrix Composite, Al_2O_3 , Stir Casting,
Micro Structure, Hardness, Specific Wear Rate***



STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME Al_2O_3 PADA MATRIKS ALUMINIUM TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN NILAI LAJU KEAUSAN PADA ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE

Nama Mahasiswa : Krisna Bilal Arief
NRP : 2109 100 108
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Indra Sidharta, ST , MSc

Abstrak

Perkembangan zaman yang cepat sangat membutuhkan material baru yang memiliki sifat-sifat unggul. Material yang digunakan pun diharuskan memiliki ketentuan tertentu untuk memenuhi kebutuhan. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi seperti di bidang komposit dapat menjadi alternatif untuk permasalahan yang timbul dan dapat memenuhi karakteristik dan sifat mekanik tertentu sesuai yang diinginkan.

Dalam studi ini, Aluminium dicairkan hingga suhu 900°C dalam furnace. Alumina sebagai penguat ditambahkan saat aluminium dalam keadaan cair, kemudian diaduk selama 10 menit dengan putaran 300 rpm. Aluminium matrix composite dibuat dengan metode stir casting. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kekerasan, keausan dan struktur mikro.

Hasil yang didapatkan adalah nilai kekerasan meningkat hingga 20 % dan menurun pada 25 % volume fraksi alumina. Peningkatan nilai kekerasan disebabkan penyisipan partikel alumina didalam matriks aluminium sedangkan penurunan nilai kekerasan diakibatkan lubang bekas melekatnya alumina yang mempermudah dislokasi. Nilai laju keausan menurun hingga kadar 20% dan meningkat pada kadar 25% volume fraksi

alumina. Penurunan nilai laju keausan disebabkan ikatan interface yang terbentuk antara matriks dan penguat. peningkatan nilai laju keausan disebabkan partikel alumina terlepas dari matriks aluminium.

Keyword: Aluminium Matrix Composite, Al_2O_3 , Stir Casting, Struktur Mikro, Kekerasan, Keausan

DAFTAR ISI

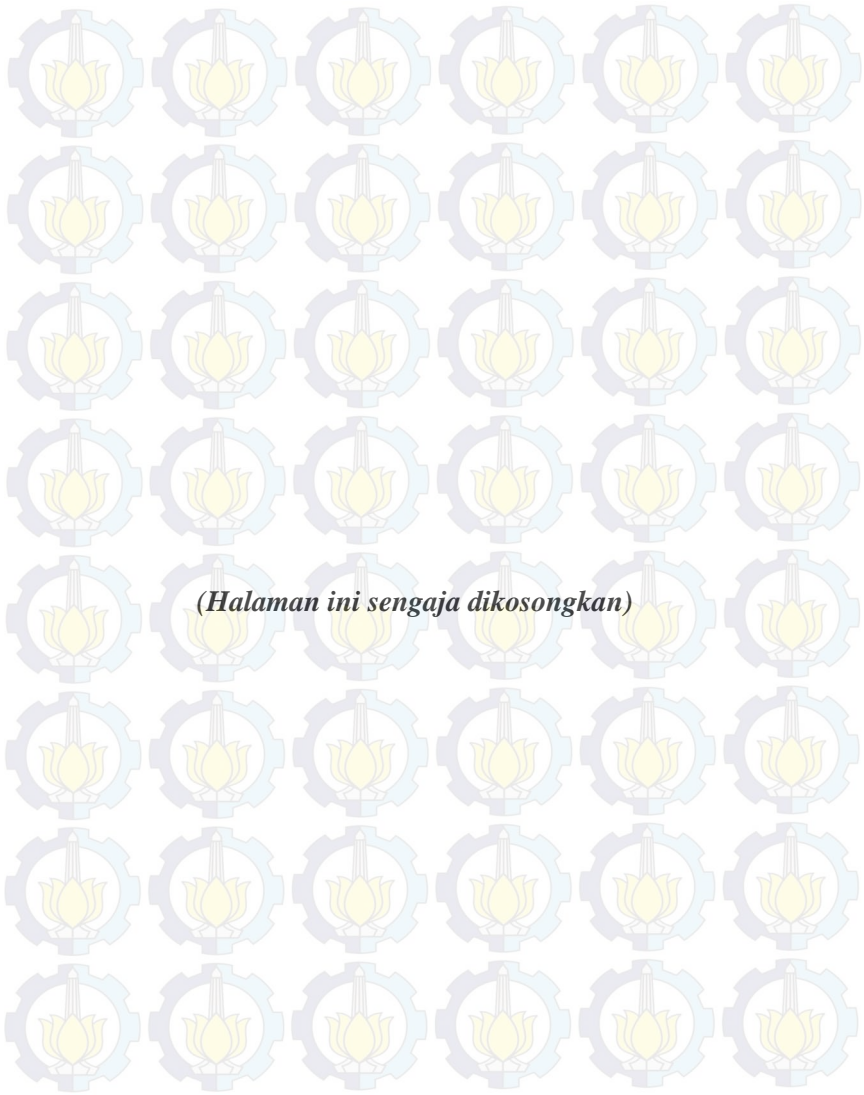
JUDUL

ABSTRAK	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Komposit	7
2.2.1.1 Matriks.....	8
2.2.1.2 Penguat	9
2.2.2 Metal Matrix Composite.....	10
2.2.2.1 Aluminium.....	12
2.2.2.2 Penguat Aluminium Oxide	13
2.2.3 Aluminium Matrix Composite.....	13
2.2.4 Proses Produksi Metal Matrix Composite	14
2.2.4.1 Proses Stir Casting	16
2.2.5 Perhitungan Komposit	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan	21
3.2.1 Alat.....	21
3.2.2 Bahan baku	22
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Pembuatan Metal Matrix Composite.....	24
3.5 Pengujian Spesimen.....	26

3.5.1 Pengamatan Struktur Mikro Material	26
3.5.2 Pengujian Kekerasan Material.....	26
3.5.3 Pengujian Keausan Material.....	27
3.6 Desain Eksperimen.....	28
BAB 4 DATA HASIL PERCOBAAN.....	29
4.1 Pengujian Komposisi Kimia.....	29
4.2 Pengujian Struktur Mikro.....	30
4.2.1 Persebaran Alumina Pada Aluminium Matrix Composite.....	30
4.3 Pengujian Mekanik.....	31
BAB 5 PEMBAHASAN	35
5.1 Pembahasan Komposisi Kimia.....	35
5.2 Pembahasan Struktur Mikro.....	35
5.3 Pengaruh Penambahan Alumina Terhadap Sifat Mekanik Material	38
5.3.1 Kekerasan.....	38
5.3.2 Keausan.....	38
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	41
6.1 Kesimpulan	41
6.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	45
BIODATA PENULIS	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Properti dari <i>Metal Matrix Composite</i> yang menggunakan berbagai tipe <i>reinforced</i>	11
Tabel 2.2	Perbandingan produk hasil proses <i>stir casting</i> dengan metode lain	13
Tabel 2.3	Perbandingan Evaluasi pembuatan Metal Matriks Komposit	16
Tabel 3.1	Komposisi Campuran Bahan	23
Tabel 3.2	Massa penyusun campuran bahan	24
Tabel 3.3	Kekasaran Permukaan <i>Pin</i> dan <i>Disk</i>	28
Tabel 3.4	Tabel Data Hasil Pengujian	28
Tabel 4.1	Hasil Uji <i>Spectrometry</i>	29
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Kekerasan dan Keausan ...	31
Tabel 5.1	Hasil Reaksi Interfacial Pada <i>Chemical bonding</i> 37	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik pengaruh ukuran butiran partikel Al_2O_3 terhadap nilai kekerasan material $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$	5
Gambar 2.2	Grafik pengaruh ukuran butiran Al_2O_3 terhadap (a) nilai <i>yield strength</i> dan (b) <i>elongation</i>	6
Gambar 2.3	Grafik laju keausan $\text{Al6061}/\text{Gr}/\text{Al}_2\text{O}_3$ terhadap (a) variasi beban (b) variasi <i>sliding distance</i>	7
Gambar 2.4	Fase – fase pada komposit	8
Gambar 2.5	<i>Particle Reinforced Composite</i>	9
Gambar 2.6	<i>Fiber Reinforced Composite</i>	10
Gambar 2.7	<i>Laminar Reinforced Composite</i>	10
Gambar 2.8	Perbandingan spesifik <i>tensile strength</i> dan spesifik <i>stiffnesmetal alloy</i> dengan MMC	11
Gambar 2.9	Klasifikasi Pembuatan <i>Metal Matrix Composite</i>	14
Gambar 2.10	<i>Bonding Fusion</i>	16
Gambar 2.11	Mekansime proses <i>stir casting</i>	17
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	20
Gambar 3.2	<i>Electric Furnace</i>	21
Gambar 3.3	<i>Mixer</i>	21
Gambar 3.4	<i>Tribometer pin on disk</i>	22
Gambar 3.5	Aluminium.....	22
Gambar 3.6	Bubuk aluminium oxide	23
Gambar 3.7	Spesimen hasil coran (a) dimensi dan bagian yang dipotong pada spesimen	25
Gambar 3.8	(a) Dimensi spesimen uji hardness, (b) titik pengujian pada spesimen	26
Gambar 3.9	(a) Dimensi spesimen uji keausan, (b) alat tribometer pin on disk.....	27
Gambar 4.1	Spesimen Aluminium Matrix Composite	29
Gambar 4.2	Struktur mikro Aluminium Matrix Composite dengan (a) 10% fraksi vol. alumina, (b) 15% fraksi vol. alumina, (c) 20% fraksi vol.alumina dan (d) 25% fraksi vol.alumina	30

Gambar 4.3	(a)Spesimen uji kekerasan dan (b) spesimen uji keausan	32
Gambar 4.4	Grafik rata-rata nilai kekerasan	32
Gambar 4.5	Grafik rata-rata nilai keausan	33
Gambar 5.1	Struktur mikro Aluminium Matrix Composite dengan (a) 10% fraksi vol. alumina, (b) 15% fraksi vol. alumina, (c) 20% fraksi vol.alumina dan (d) 25% fraksi vol.alumina	36
Gambar 5.2	Foto makro permukaan Aluminium Matrix Composite uji keausan dengan (a) 10% fraksi vol. alumina, (b) 15% fraksi vol. alumina, (c) 20% fraksi vol.alumina dan (d) 25% fraksi vol.alumina	39

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman yang cepat sangat membutuhkan material baru yang memiliki sifat-sifat unggul. Material yang digunakan pun diharuskan memiliki ketentuan tertentu untuk memenuhi kebutuhan. Tidak jarang material yang ada tidak bisa memenuhi ketentuan yang diinginkan dikarenakan sifat mekanik dan karakteristik dari material tidak sesuai. Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi seperti di bidang komposit dapat menjadi alternatif untuk permasalahan yang timbul dan dapat memenuhi karakteristik dan sifat mekanik tertentu sesuai yang diinginkan.

Komposit merupakan kombinasi dua atau lebih material yang memiliki ikatan *interface* antara material penyusunnya sehingga diperoleh sifat material yang baru. Keuntungan yang dapat diperoleh adalah mendapatkan sifat-sifat unggul dari beberapa material. Beberapa contoh aplikasi penggunaan komposit ada di bidang penerbangan seperti bodi pesawat atau bidang otomotif seperti *bumper* mobil. Komposit juga dapat dibedakan menurut matriks penyusunnya seperti *Metal Matrix Composite* (MMC), *Polimer Matrix Composite* (PMC) dan *Ceramic Matrix Composite* (CMC). *Metal Matrix Composite* (MMC) adalah komposit dengan matriks aluminium dengan penguat partikel memberikan sejumlah alternatif penggunaan karena komposit ini memiliki keunggulan dari sisi kapasitas panas spesifik, konduktivitas panas tinggi, massa jenis rendah, kekuatan spesifik tinggi, kekakuan spesifik tinggi, koefisien ekspansi baik serta ketahanan aus [11].

Salah satu teknologi temuan manusia yang berperan besar dalam menunjang kehidupan sehari-hari ialah mesin bakar. Material mesin bakar belakangan ini didominasi oleh aluminium

dimana logam ini relatif ringan sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan mesin bakar. *Aluminium Matrix Composites* (AMC) adalah jenis komposit logam yang sering digunakan dan dapat menguntungkan apabila digunakan pada aplikasi permesinan. AMC menyediakan gabungan sifat yang baik dibanding material monolit atau paduannya. Salah satu bagian mesin yang penting adalah silinder ruang bakar, yaitu bagian yang berfungsi sebagai wadah pembakaran campuran bahan bakar dan udara. Hasil dari pembakaran tersebut akan menggerakkan piston. Gesekan antara piston dan silinder ruang bakar akan sering terjadi. Oleh karena itu silinder piston banyak diteliti dengan menggunakan material *aluminium matrix composite* sebagai pengganti dari paduan aluminium.

Metal Matrix Composite memiliki beberapa metode dalam proses pembuatannya, seperti *sintering*, *casting*, ataupun *stir casting*. Pada penelitian ini menggunakan teknik *stir casting* dikarenakan metode ini yang paling murah dan sering digunakan. Pada teknik *stir casting* ini, material penguatnya dimasukkan ke dalam aluminium cair dan kemudian diaduk menggunakan mesin dengan putaran konstan agar memastikan antara *matrix* dengan *reinforcement* dapat tercampur dengan tepat.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian *aluminium matrix composite* ini adalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan Al_2O_3 terhadap struktur mikro *aluminium matrix composite*
2. Bagaimana pengaruh penambahan Al_2O_3 terhadap nilai kekerasan material
3. Bagaimana pengaruh penambahan Al_2O_3 terhadap nilai laju keausan material.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Parameter dalam proses pengecoran seperti temperatur, waktu penuangan, putaran pengaduk dianggap konstan.
2. Aluminium yang digunakan mempunyai komposisi kimia yang sama.
3. Ukuran partikel Al_2O_3 yang digunakan dianggap seragam.
4. Porositas akibat gas yang terperangkap pada setiap spesimen dianggap memiliki jumlah yang sama

1.4 Tujuan Penelitian

Dengan perumusan masalah yang timbul, penelitian ini memiliki beberapa tujuan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh variasi penambahan Al_2O_3 terhadap struktur mikro *aluminium matrix composite*
2. Menganalisa pengaruh variasi penambahan Al_2O_3 terhadap nilai kekerasan material.
3. Menganalisa pengaruh variasi penambahan Al_2O_3 terhadap nilai laju keausan material.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini untuk menambah pengetahuan tentang pengaruh penambahan fraksi volume Al_2O_3 sebagai penguat dan matriks aluminium dalam pembuatan *Aluminium Matrix Composite* terhadap sifat mekanik material serta pada bidang teknologi otomotif juga dapat diaplikasikan untuk bahan pada dinding silinder mesin.



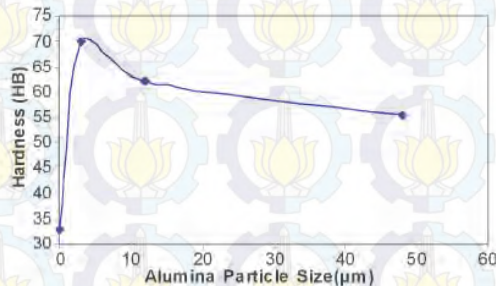
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

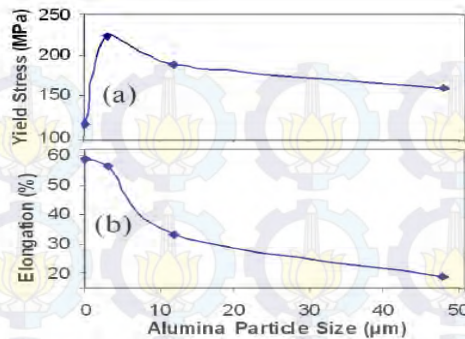
Penelitian yang dilakukan oleh N.Parvin dan M. Rahimian [6] menggunakan penguat Al_2O_3 dengan ukuran butiran 3, 12 dan 48 μm dan volume fraksi masing ukuran butiran sebesar 10 %. Proses produksi menggunakan metode sintering dan beberapa pengujian seperti uji tarik, uji kekerasan dan *scanning electron microscope* (SEM).

Hasil dari penelitian yang dilakukan didapatkan material Al- Al_2O_3 memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan material Al murni. Nilai kekerasan cenderung menurun sesuai dengan bertambahnya ukuran butiran Al_2O_3 .



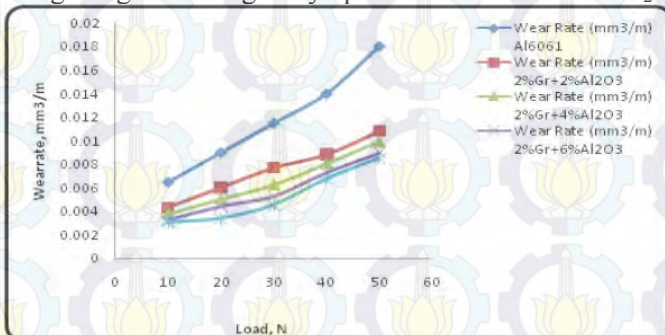
Gambar 2.1. Grafik pengaruh ukuran butiran partikel Al_2O_3 terhadap nilai kekerasan material Al- Al_2O_3 . [6]

Nilai *Yield strength* material Al- Al_2O_3 mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan material Al dan menurun dengan bertambahnya ukuran butiran partikel Al_2O_3 . Elongation dari material Al- Al_2O_3 menurun jika dibandingkan dengan material Al.

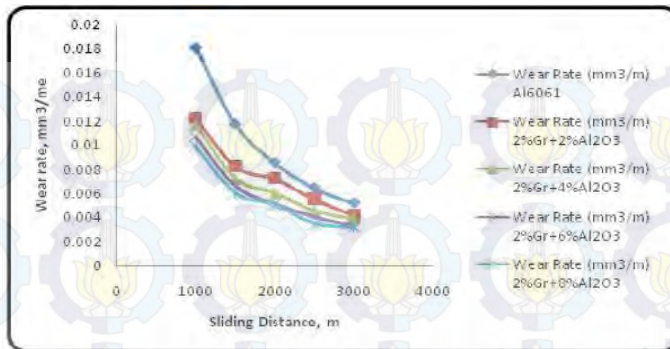


Gambar 2.2 Grafik pengaruh ukuran butiran Al_2O_3 terhadap (a) nilai *yield strength* dan (b) *elongation*. [6]

Penelitian yang dilakukan Suresh R dan M. Prassana Kumar [10] menggunakan matriks Al6061 dengan penguat Al_2O_3 serta grafit. Ukuran butiran Al_2O_3 sebesar 25 mikron dan variasi massa 2%, 4%, 6% dan 8% sedangkan ukuran butiran grafit sebesar 25 mikron dan variasi massa 2 %. Proses pembuatan *metal matrix composite* menggunakan metode *stir casting*. Dengan menggunakan alat *tribometer pin on disk* dengan kisaran beban 10 -50 N dan *sliding speed* antara 1.88 – 5.65 m/s menunjukkan bahwa nilai laju keausan akan semakin berkurang dengan meningkatnya prosentase massa dari Al_2O_3 .



(a)



(b)

Gambar 2.3. Grafik laju keausan Al6061/Gr/Al₂O₃ terhadap (a) variasi beban (b) variasi *sliding distance* [10].

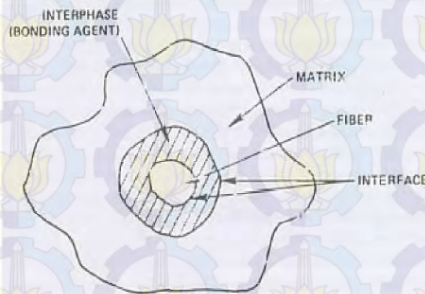
Honnaiah C, Ashok Kumar M S dan S L Ajir Prasad[11] juga melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan Al₂O₃ pada A356 terhadap keausan material. Penggunaan Al₂O₃ memiliki variasi ukuran butiran 23, 45, 75 dan 120 μm dengan fraksi massa 10 %. Hasil penelitian menunjukkan ketahanan terhadap keausan meningkat dengan adanya penambahan Al₂O₃. Serta dengan semakin kecil ukuran butiran Al₂O₃ ketahanan keausannya juga semakin meningkat.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Komposit

Komposit merupakan material yang terdiri atas dua atau lebih material penyusun. Definisi lain menyatakan bahwa komposit adalah perpaduan dari bahan yang dipilih berdasarkan sifat masing-masing bahan penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur [2]. Pada komposit dapat terbentuk *interphase* yaitu suatu fase diantara fase *matrix* dan penguat yang timbul akibat reaksi kimia dan efek dari proses produksi yang dilakukan [1]. Dasar kekuatan komposit terletak pada kekuatan

interface matriks dan penguat. Jika ikatan *interface* terjadi dengan baik maka transmisi tegangan dapat berlangsung dengan baik pula. Kualitas ikatan antara matriks dengan *reinforcement* dipengaruhi beberapa variabel seperti ukuran partikel, fraksi volume material, komposisi material, bentuk partikel, kecepatan dan waktu pencampuran, penekanan (*kompaksi*) dan pemanasan (*sintering*) [3].



Gambar 2.4 Fase - fase pada komposit [3]

Bahan komposit mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan material dasar diantara lain memiliki berat yang lebih rendah dari material dasarnya dikarenakan mempunyai densitas yang lebih rendah, memiliki ketahanan *fatigue* yang baik, serta memiliki ketahanan terhadap keausan yang baik pula. Dengan berbagai keunggulan yang dimiliki bahan komposit banyak diterapkan dalam dunia industri otomotif dan penerbangan.

2.2.1.1 Matriks (*Matrix*)

Pada teknologi komposit, matriks dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi untuk pengisi, pengikat, melindungi serta mendistribusikan dan menahan tegangan yang diterima material komposit tersebut.

Komposit dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan jenis matriksnya, yaitu:

1. *Polymer Matrix Composite (PMC)*

Merupakan komposit yang menggunakan polimer sebagai matriksnya.

Contoh : glass fiber reinforced polymer dan carbon fiber reinforced polymer

2. *Metal Matrix Composite (MMC)*

Merupakan komposit yang menggunakan logam sebagai matriksnya

Contoh : aluminium, magnesium

3. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*

Merupakan komposit yang menggunakan keramik sebagai matriksnya

Contoh : aluminium titanate, silicon carbide

2.2.1.2 Penguat (*Reinforcement*)

Penguat (*reinforce*) dalam teknologi komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang berfungsi sebagai penguat yang memiliki sifat yang lebih kuat dari fase matriks dan merupakan tempat melekatnya matriks [1]. Penguat merupakan unsur utama dalam struktur komposit yang berfungsi menahan mayoritas pembebanan yang diterima struktur komposit sehingga penguat inilah yang menentukan karakteristik bahan komposit seperti kekakuan, kekuatan dan sifat-sifat mekanik lainnya [4]. Beberapa jenis penguat berdasarkan bentuk dari fase penguatnya dibagi menjadi tiga jenis yaitu :

1. *Particle Reinforced Composite (PRC)*

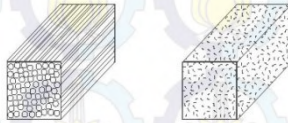
Komposit yang penguatnya berbentuk partikel (*granular*):



Gambar 2.5 *Particle reinforced composite*. [3]

2. *Fiber Reinforced Composite (FRC)*

Komposit yang penguatnya berbentuk serat, baik serat panjang (*continous*) maupun serat pendek (*discontinuous*):



Gambar 2.6 *Fiber reinforced composite.*

3. *Laminar Reinforced Composite (LRC)*

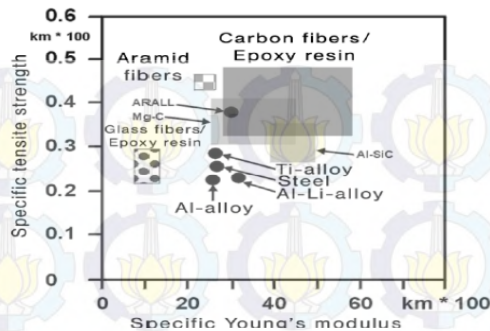
Komposit yang penguatnya berbentuk lapisan (*laminate*):



Gambar 2.7 *Laminar reinforced composite.*

2.2.2 Metal Matrix Composite

Metal Matrix Composite (MMC) adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matriks logam. Matriks pada metal matriks komposit mempunyai karakteristik seperti keuletan yang tinggi, titik lebur yang rendah serta densitas yang rendah [5]. Aluminium beserta paduannya, titanium beserta paduannya dan magnesium beserta paduannya merupakan contoh dari metal matriks. Tipe penguat yang digunakan diantaranya silicon carbide, alumina, titanium carbide dan sebagainya. Perpaduan antara fase matriks dengan fase penguat ini akan didapatkan sifat yang diinginkan dalam proses penggunaannya. Sebagai contoh penambahan Al_2O_3 pada aluminium dapat meningkatkan nilai kekerasan material aluminium- Al_2O_3 jika dibandingkan dengan aluminium *alloy* [6].



Gambar 2.8 Perbandingan spesifik *tensile strength* dan spesifik *stiffnes metal alloy* dengan MMCs [7].

Logam aluminium dan paduannya memiliki massa jenis yang rendah dan mempunyai kekuatan yang rendah dibandingkan dengan material baja. Namun bila aluminium ditambahkan keramik sebagai penguat maka kekuatan material komposit akan meningkat secara signifikan bahkan melebihi sifat besi tuang dan baja. Seperti diperlihatkan gambar 2.5, memperlihatkan perbandingan kekuatan dan modulus Young berbagai jenis logam dengan komposit. Nilai kekuatan dan modulus Young komposit Al-SiC lebih tinggi dari pada paduan Ti, baja dan paduan Al.[7]

Tabel 2.1 Properti dari *Metal Matrix Composite* yang menggunakan berbagai tipe *Reinforced*[7]

MMC type	Properties Strength	Young's modulus	High temperature properties	Wear	Expansion coefficient	Costs
mineral wool: MMC	*	*	***	**	*	medium
discontinuous reinforced MMC	**	**	*	***	**	low
long fiber reinforced MMC:	**	**	**	*	***	high
C fibers	***	***	***	*	**	high
other fibers	***	***	***	*	**	high

Secara prinsip penguat yang kontinyu akan memberikan akan memberikan sifat mekanik yang lebih baik. Akan tetapi metode pembuatannya lebih mahal jika dibandingkan dengan

penguat jenis *discontinuous* sehingga sekarang banyak dikembangkan komposit dengan *discontinuous reinforce*[7]. Meskipun komposit dengan *discontinuous reinforce* tidak menghasilkan sifat yang sama dan cenderung lebih rendah, akan tetapi biaya yang dibutuhkan lebih murah serta metode pembuatannya lebih mudah [2].

2.2.2.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang berjumlah sekitar 8 % dari permukaan bumi dan paling berlimpah ketiga tetapi tidak ditemukan secara bebas di alam. Aluminium mempunyai sifat mekanik, ketahanan korosi serta konduktifitas listrik yang baik. Oleh karena itu, aluminium digunakan dalam banyak industri seperti konstruksi, badan pesawat terbang dan transportasi. Material aluminium banyak digunakan dikarenakan juga memiliki sifat mampu bentuk (*wrought alloy*) dimana paduan aluminium ini dapat dikerjakan atau diproses baik dalam pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas. Pada lapisan luar, aluminium selalu tertutup oleh lapisan tipis oksida yang memang merupakan sifat dari aluminium. Oksida inilah yang mempunyai sifat melindungi aluminium dari korosi [4].

Aluminium mempunyai massa jenis sebesar $2,7 \text{ g/cm}^3$ dan memiliki nilai kekuatan yang rendah sehingga tidak bisa langsung digunakan untuk keperluan industri. Penambahan unsur seperti tembaga (Cu), silikon (Si), atau magnesium (Mg) akan menghasilkan paduan aluminium yang memiliki nilai kekuatan yang lebih besar [8]. Sementara itu, aluminium juga memiliki beberapa kekurangan seperti : kekakuan yang rendah, tidak memiliki ketahanan yang baik terhadap abrasi dan *wear* serta titik leburnya yang cukup rendah yaitu sekitar 660°C [1]. Dengan adanya keunggulan dan kekurangan yang dimiliki aluminium menjadikan aluminium sebagai logam yang paling banyak digunakan untuk obyek riset pada komposit bermatriks logam.

2.2.2.2 Aluminium Oxide (Alumina)

Aluminium Oxide merupakan material keramik yang paling penting. Material yang lebih banyak disebut dengan alumina ini merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia Al_2O_3 . Material ini memiliki titik lebur pada suhu $2072^{\circ}C$ dan mampu mempertahankan kekuatannya hingga suhu $1500^{\circ}C$ sampai $1700^{\circ}C$ [9]. Material ini juga memiliki *wear resistance* yang baik, nilai kekerasan yang cukup tinggi.

Alumina merupakan salah satu penguat pada *metal matrix composite* yang tergolong pada material keramik. Seperti halnya material keramik lainnya, alumina memiliki sifat tahan aus yang baik karena memiliki nilai kekerasan yang baik pula. Ketahanan aus dapat dilihat dari nilai laju keausannya, semakin kecil nilai laju keausan maka dapat dikatakan material tersebut memiliki ketahanan aus yang baik. Selain itu alumina juga memiliki sifat tahan terhadap korosi, titik leleh yang cukup tinggi, konduktivitas termalnya yang rendah dan tahan terhadap suhu lingkungan yang tinggi. Untuk aplikasi pemakaian yang berhubungan dengan gesekan khususnya yang membutuhkan gaya gesek yang besar, aluminium dengan penguat alumina merupakan pilihan yang tepat. Tabel 2.2 merupakan perbandingan antara penguat alumina dan *fly ash*.

Tabel 2.2 Perbandingan penguat alumina dan *fly ash* [1].

SIFAT	ALUMINA	FLY ASH
BIAYA	MAHAL	MURAH
HOMOGENISASI	BAIK	BURUK
PARTIKEL PENYUSUN		
SIFAT PELUMAS	TIDAK PUNYA	TIDAK PUNYA

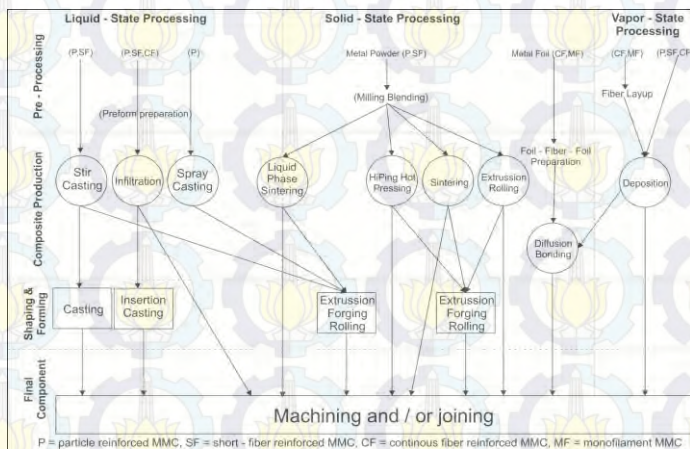
2.2.3 Aluminium Matrix Composite (AMC)

Salah satu jenis komposit matrik logam yang banyak dikembangkan industri motor dewasa ini adalah komposit yang matriknya berupa logam (*metal matrix composite*) yaitu komposit bermatriks aluminium (*aluminium matrix composite*).

Matriks yang digunakan dalam *aluminium matrix composite* dapat berupa aluminium murni atau paduan Al seperti Al-Si, Al-Cu, 2xxx, 6xxx dan 7xxx, sedangkan penguat yang umum digunakan adalah Al_2O_3 . Pemakaian bahan aluminium dan atau paduannya sebagai matriks karena memiliki sifat yang sangat menarik yaitu densitas rendah, memiliki kemampuan untuk dikuatkan dengan pengendapan presipitat, ketahanan korosi sangat baik, konduktifitas panas dan listrik yang tinggi. *Aluminium matrix composite* dapat menghasilkan karakteristik mekanik yang bervariasi tergantung jenis paduannya.

2.2.4 Proses Produksi *Metal Matrix Composite*

Untuk pembuatan *metal matrix composite* ada beberapa metode yang digunakan. Metode pembuatan yang digunakan untuk membuat komposit ini tergantung dari jenis fase matriks sebelum ditambahkan penguat. Setiap proses memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri, termasuk perhitungan biaya produksi. Beberapa model pembuatan *metal matrix composite* dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 2.9 Klasifikasi pembuatan *Metal Matrix Composite*[5].

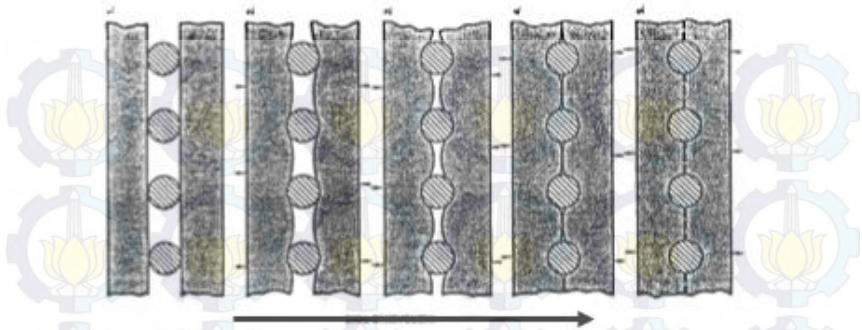
Pada proses matriks fase cair (*liquid state processing*) , pembuatan *metal matrix composite* terbagi atas :

- *Stir Casting* ,
Logam cair ditambahkan penguat dalam bentuk serbuk kemudian diaduk sampai berbentuk bubur
- *Infiltration* ,
Logam cair diinjeksikan ke dalam *interstice* dan disusun dari serat pendek kemudian dilakukan penyisipan partikel pada fase cair.
- *Spray Casting* ,
Penyemprotan partikel penguat terhadap matriks komposit

Pada proses matriks fase padat (*solid state processing*), pembuatan *metal matrix composite* terbagi atas :

- *Sintering* ,
Dimana material ditekan dan dilakukan pembentukan campuran dengan serbuk komposit
- *Ekstrusi* ,
Dimana material dibentuk dengan penyemprotan partikel penguat pada material yang kemudian dibentuk menjadi profil – profil tertentu.

Adapun metode pembentukan fase padat komposit yang lain, yaitu *bonding diffusion*. Unsur-unsur komposit (lapisan) yang dirakit oleh *layering array* (atau pembungkus untuk bentuk silinder atau cincin) serat dan matriks untuk mencapai orientasi serat yang telah ditentukan dan ketebalan komposit. Penggabungan komposit dicapai dengan menerapkan tekanan tinggi dalam arah normal ke permukaan lapis pada temperatur yang cukup untuk menghasilkan difusi atom dari paduan matriks. Proses ini dilakukan di lingkungan vakum.



Gambar 2.10 Bonding fusion [5].

Sedangkan pada proses fase gas (*Vapor State Processing*), infiltrat yang telah meleleh dicampur dengan gas *inert* dari luar. Proses pencampuran gas *inert* terhadap matrik ini berlangsung di sebuah bejana tekan

2.2.4.1 *Stir Casting*

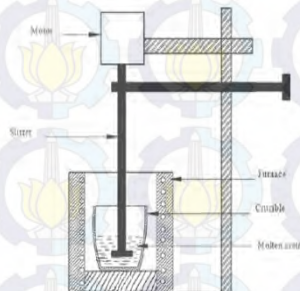
Proses pengecoran dengan metode *stir casting* merupakan salah satu metode pembuatan *metal matrix composite* dengan matriks fase cair. Metode *stir casting* ini memiliki beberapa keunggulan seperti dalam segi biaya tidak membutuhkan banyak biaya dan pembuatan yang relatif mudah.

Tabel 2.3 Perbandingan Produk Hasil Proses *Stir Casting* Dengan Metode Lain [1].

A comparative evaluation of the different techniques used for DRMMC fabrication				
Method	Range of shape and size	Metal Yield	Damage to Reinforcement	Cost
<i>stir casting</i>	wide range of shapes; larger size; up to 500 kg	very high, > 90%	no damage	least expensive

<i>Squeeze casting</i>	limited by preform shape; up to 2 cm height	Low	severe damage	moderately expensive
<i>Powder metallurgy</i>	wide range; restricted size	High	reinforcement fracture	Expensive
<i>Spray casting</i>	limited shape; large size	Medium	-	Expensive
<i>Lanxide technique</i>	limited by pre-form shape; restricted size	-	-	Expensive

Pada metode *stir casting*, logam cair dicampur dengan partikel penguat dalam bentuk serbuk kemudian diaduk dengan pengaduk mekanik. Kemudian material komposit cair di cor menggunakan metode cor konvensional ataupun dengan menggunakan teknologi pembentukan konvensional lainnya. Pemilihan metode *stir casting* dalam pembuatan material ini dikarenakan teknik ini dapat membuat komposit logam dengan distribusi partikel penguat yang mayoritas merata dan homogen untuk mendapatkan sifat mekanik yang baik dengan proses pengadukan yang benar.



Gambar 2.11 Mekanisme proses *stir casting* [14].

2.2.5. Perhitungan Komposit

Pada penelitian kali ini menggunakan cetakan *stainless steel* berbentuk tabung. Dari dimensi cetakan nanti akan didapatkan volume tabung dengan menggunakan rumus volume tabung :

$$V = \pi * r^2 * t$$

dimana : V = volume tabung (cm^3)
 r = jari – jari tabung (cm)
 t = tinggi tabung (cm)

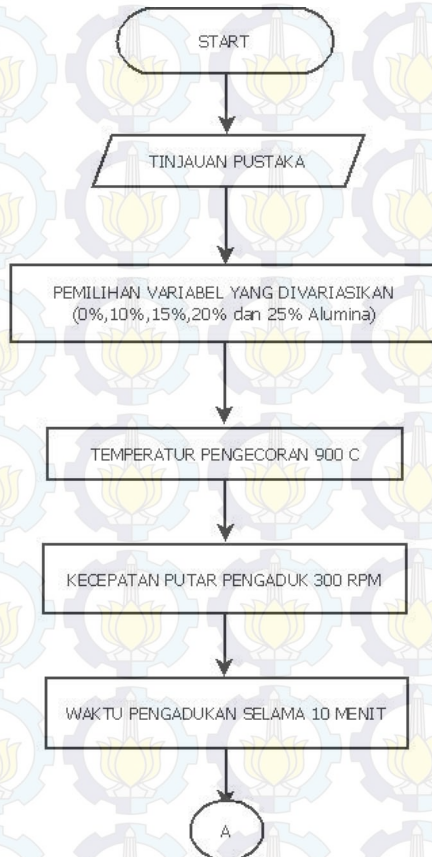
Setelah mendapatkan volume cetakan dilanjutkan dengan menghitung besar massa yang diperlukan untuk mengisi cetakan dengan menggunakan persamaan menghitung massa jenis, yaitu :

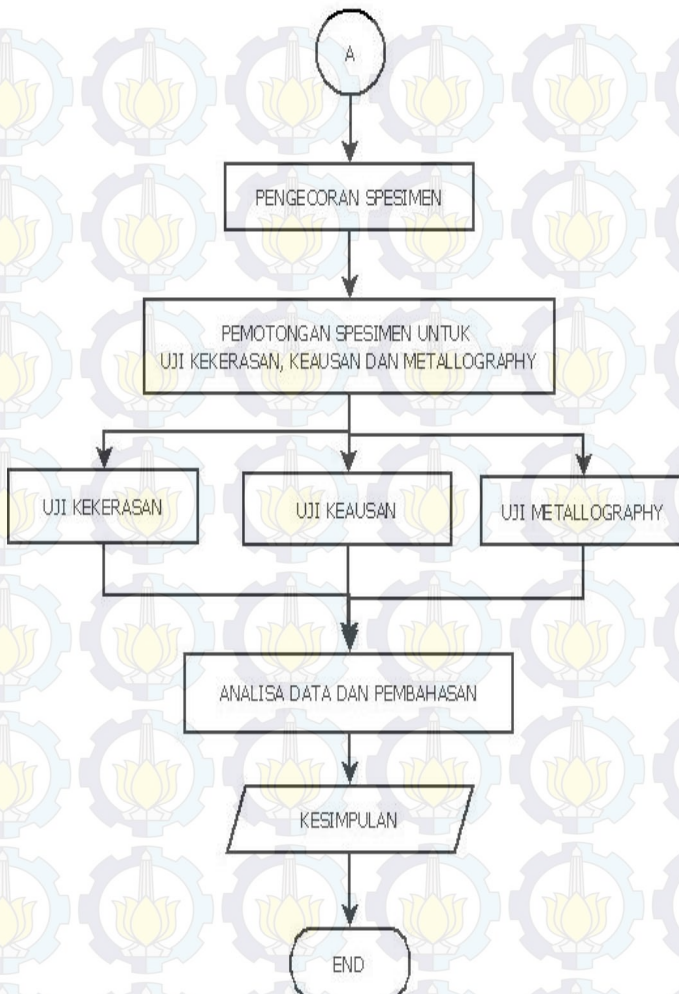
$$\rho = \frac{M}{V}$$

dimana : m = massa (gram)
 ρ = massa jenis (gr / cm^3)
 V = Volume (cm^3)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Dalam penelitian ini proses pembuatan aluminium *matrix composite* menggunakan metode *stir casting*. Alat yang digunakan adalah :

1. *Electric Furnace*



Gambar 3.2 *Electric Furnace*

2. Pengaduk (*mixer*)



Gambar 3.3 *Mixer*

3. Mesin Uji Aus – *Tribometer pin on disk*



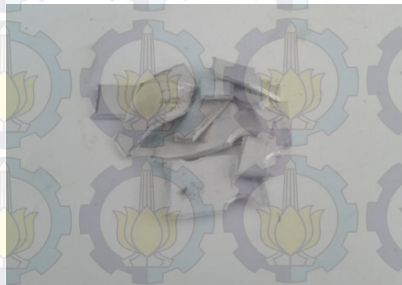
Gambar 3.4 *Tribometer pin on disk*

4. Mesin Uji Hardness FRANK
5. Timbangan digital
6. Serta alat bantu lain seperti alat pemotong aluminium, *Laddle*, Penjepit / Tang, Cetakan *stainless steel*, Gerinda potong (*cutting Wheel*), Aluminium Foil, *Tachometer* infra merah, Penjepit *ladle*, Mikroskop Optis (*Light Microscope*), Perangkat *grinding*, *polishing* dan *etching*.

3.2.2 Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan *aluminium matrix composite* sebagai berikut:

1. Aluminium bekas yang dipotong



Gambar 3.5 Aluminium

2. *Aluminium oxide* yang berukuran 1 mikron



Gambar 3.6 Bubuk *aluminium oxide*

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam pembuatan *aluminium matrix composite* adalah komposisi bahan penyusun material komposit tersebut yang terdiri dari aluminium sebagai matriks dan Al_2O_3 sebagai penguat. Variasi komposisi campuran bahan untuk setiap ukuran partikel Al_2O_3 ditunjukkan pada Tabel 3.1 :

Tabel 3.1 Komposisi Campuran Bahan

Kode spesimen	Alumina (%)	Aluminium (%)
1	0	100
2	10	90
3	15	85
4	20	80
5	25	75

Cetakan untuk pembuatan *aluminium matrix composite* menggunakan bahan *stainless steel* berbentuk tabung dengan diameter 36.3 mm dan tinggi 70 mm. Dari perumusan volume tabung :

$$V_{\text{tabung}} = \pi * r^2 * t$$

dimana : $\pi = 3,14$

r = jari – jari alas tabung

t = tinggi tabung

didapatkan volume sebesar 72,41 cm³. Dari volume tabung tersebut akan didapatkan besar massa bahan penyusun dari perumusan massa jenis :

$$\rho = m/v$$

dimana : m = massa

ρ = massajenis

v = volume

maka didapatkan massa bahan penyusun pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Massa Penyusun Campuran Bahan

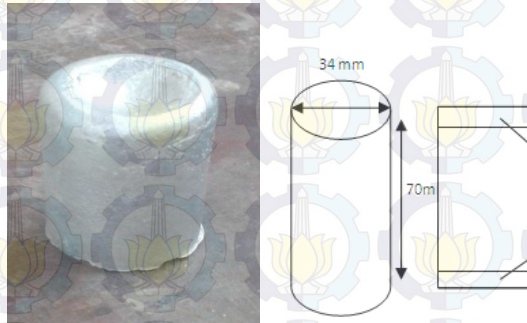
Kode spesimen	Alumina (gram)	Aluminium (gram)
1	0	195,51
2	28,91	175,96
3	42,36	166,18
4	57,92	156,41
5	70,59	146,63

3.4 Pembuatan *Aluminium Matrix Composite*

3.4.1 Proses *Stir Casting*

1. Persiapan material serta cetakan coran yang akan digunakan
2. Aluminium yang telah dipotong kecil kemudian ditimbang sesuai variable pengujian yang telah ditentukan yaitu sebesar 100%, 90%, 85%, 80% dan 75% dari fraksi volume
3. Al₂O₃ ditimbang sesuai variable pengujian yang telah ditentukan yaitu sebesar 10 %, 15%, 20% dan 25 % dari fraksi volume

4. Al_2O_3 yang telah ditimbang selanjutnya dibungkus dengan aluminium foil
5. Aluminium dimasukkan kedalam *ladle* yang telah di atur pada suhu 900°C [1]
6. Setelah aluminium cair sepenuhnya, partikel Al_2O_3 yang telah dibungkus aluminium foil dimasukkan kedalam *ladle* yang berisi aluminium cair
7. Aluminium cair dan Al_2O_3 diaduk dengan menggunakan *mixer* pada kecepatan 300 rpm selama 10 menit [10] guna menyebarkan partikel Al_2O_3 kedalam matriks
8. Setelah pengadukan selesai komposit $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$ dituangkan kedalam cetakan *stainless steel* dan didinginkan pada suhu kamar
9. Komposit $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$ yang telah mengeras dikeluarkan dengan memotong cetakan *stainless steel* lalu bagian atas dan bagian bawah material dipotong ± 2 mm untuk menghilangkan *shrinkage* pada bagian atas dan pasir yang menempel pada bagian bawah
10. Kemudian komposit $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$ di-*machining* sesuai dengan dimensi untuk pengujian



Gambar 3.7 Spesimen hasil coran (a) dimensi dan bagian yang dipotong pada spesimen

3.5 Pengujian Spesimen

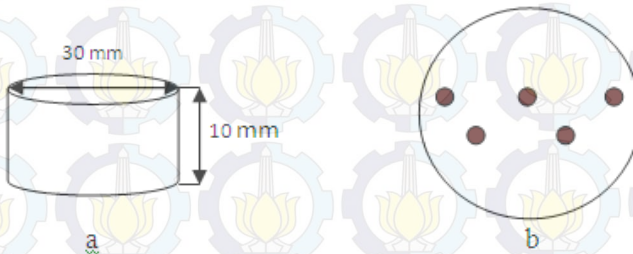
Dalam penelitian ini ,dilakukan beberapa pengujian terhadap spesimen yang telah dihasilkan, yaitu:

3.5.1 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro ini menggunakan spesimen uji keausan berbentuk silinder berdiameter 15 mm dan tinggi 20 mm. Selanjutnya spesimen dipreparasi dengan menggunakan prosedur metalografi standar yang melibatkan *grinding* dan *polishing*. Proses etsa dilakukan dengan mengusapkan larutan etsa kepermukaan spesimen. Larutan etsa yang digunakan adalah Keller Reagent selama 2 detik lalu spesimen segera dicuci dengan menggunakan alkohol 98%. Struktur mikro dari spesimen tersebut diamati dengan menggunakan mikroskop optis Olympus yang dilengkapi dengan kamera digital. Morphology dan fase yang ada pada spesimen akan dianalisa dan didiskusikan secara menyeluruh.

3.5.2 Pengujian Kekerasan

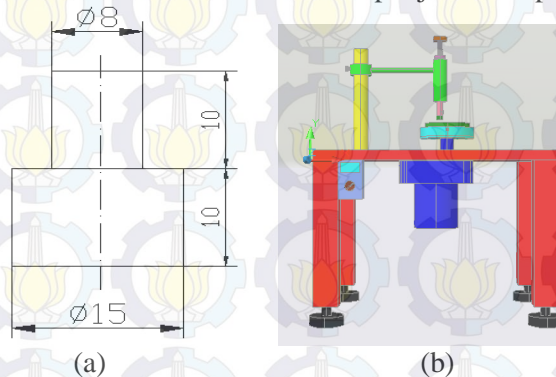
Pengujian kekerasan menggunakan metode Brinell dengan menggunakan mesin uji FRANK. Indentor yang dipakai adalah bola baja dengan diameter 2,5 mm. Pembebanan yang diberikan adalah 31,25 KP. Spesimen uji hardness berbentuk tabung berdiameter 30 mm dan tinggi 10 mm. Untuk titik pengujian berjumlah 5 titik bervariasi fraksi volume dapat dilihat seperti gambar 3.8 (b).



Gambar 3.8 (a) Dimensi spesimen uji kekerasan dan (b) titik pengujian pada spesimen

3.5.3 Pengujian Keausan

Pengujian keausan menggunakan metode *tribometer pin on disk* dengan *dry sliding*. Spesimen yang digunakan dalam pengujian keausan memiliki bentuk silinder dengan diameter bertingkat ditunjukkan pada gambar 3.9 dengan satuan mm. Pembuatan spesimen dilakukan dengan di *machining*. Selanjutnya diberikan pembebanan sebesar 15 N dengan cara memutar pegas dengan *pin holder* kepermukaan piringan. Permukaan spesimen akan bersentuhan dengan piringan dengan baja paduan dengan standard AISI 4340 berdiameter 100 mm dan tebal 15 mm serta memiliki nilai kekerasan 57 HRC sebagai bahan gesekan untuk spesimen uji. Kemudian motor dinyalakan dan mengatur *speed control* untuk mendapatkan kecepatan sebesar 0,150560328 m/s. Setelah mencapai *sliding distance* 1000 m, motor dimatikan kemudian spesimen uji ditimbang untuk mengetahui perbedaan berat sebelum dan sesudah dikenai pengujian keausan. Dari tabel 3.3 kekasaran pada permukaan spesimen/*pin* dan *disk* uji sebesar $1,71\mu\text{m}$ dan $0,74\mu\text{m}$. Lalu data yang diperoleh diolah untuk mengetahui nilai laju keausannya. Satuan yang digunakan untuk pengujian keausan kali ini adalah volume per jarak dan per gaya.



Gambar 3.9 (a) Dimensi spesimen uji keausan, (b) alat *tribometer pin on disk* [13]

Tabel 3.3 Kekasaran Permukaan *Pin* dan *Disk*

TITIK	1	2	3	RATA -RATA (μm)
PIN	1,71	0,72	1,2	1,21
DISK	0,52	0,76	0,94	0,74

3.6 Desain Eksperimen

Untuk mempermudah pengambilan data, tabel percobaan, perlu direncanakan seperti pada tabel 3.4

Tabel 3.4 Data Hasil Uji Kekerasan dan Uji Keausan

No.	Fraksi Volume Alumina (%)	Titik	Nilai Kekerasan	Nilai Kekerasan (Avg)	Massa Spesimen (kg)			Struktur Mikro
					mo	mi	Δm	
1	0	1						
		2						
		3						
		4						
		5						
2	10	1						
		2						
		3						
		4						
		5						
3	15	1						
		2						
		3						
		4						
		5						
4	20	1						
		2						
		3						
		4						
		5						
5	25	1						
		2						
		3						
		4						
		5						

BAB 4

DATA HASIL PENGUJIAN

Setelah proses pengecoran spesimen *aluminium matrix composite* dilakukan proses pembentukan spesimen sesuai dengan standart pengujian kekerasan dan pengujian keausan seperti pada gambar 4.2(a) dan 4.2(b), maka dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian keausan. Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan dengan pengujian *metallography*. Dari pengujian tersebut diperoleh data yang selanjutnya dapat dianalisa.



Gambar 4.1 Spesimen *Aluminium Matrix Composite*

4.1 Pengujian Komposisi Kimia

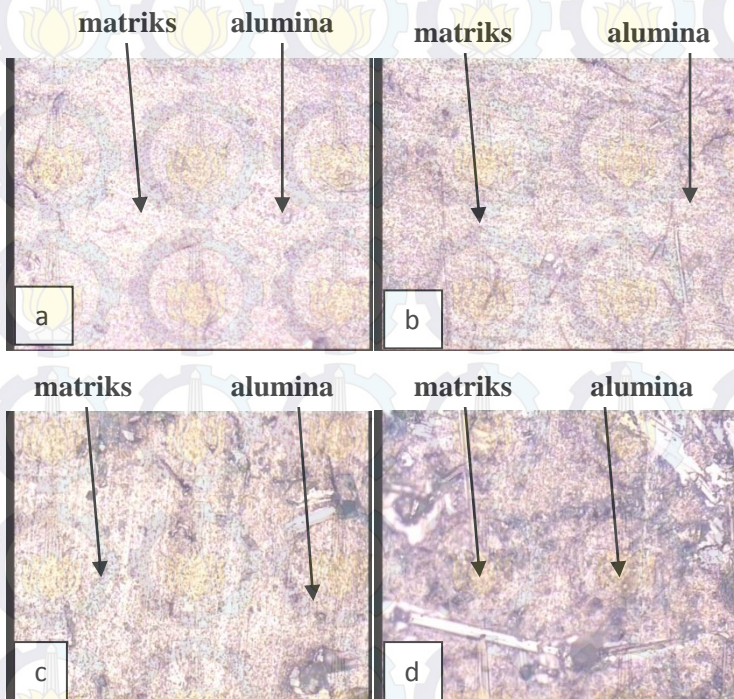
Pengujian komposisi kimia pada aluminium yang digunakan sebagai matriks menggunakan pengujian *spectrometry*. Data hasil pengujian *spectrometry* didapatkan komposisi paduan dari matriks aluminium sehingga dapat diketahui jenis *grade* aluminium.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Spectrometry*

Unsur	Al	Si	Mg	Fe	Ti	Cu	Mn	Ni
Avg.	99	0,463	0,327	0,0833	0,0135	0,006	0,0047	0,0046

4.2 Pengujian Struktur Mikro

4.2.1 Persebaran Alumina Pada *Aluminium Matrix Composite*



Gambar 4.2 Struktur mikro *Aluminium Matrix Composite* dengan (a) 10% fraksi vol.alumina, (b) 15% fraksi vol.alumina, (c) 20% fraksi vol.alumina dan (d) 25% fraksi vol.alumina

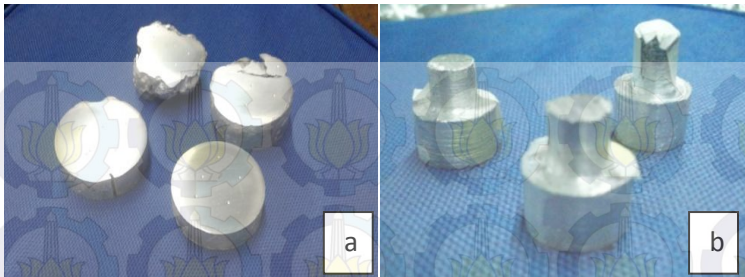
Gambar 4.2 menunjukkan hasil pengujian *metallography* pada spesimen *aluminium matrix composite* dengan presentase fraksi volume alumina sebesar 10 persen hingga 25 persen. Larutan etsa yang digunakan Keller Reagent dengan komposisi 2,5 mL HNO_3 , 1,5 mL HCl , 1 mL HF dan 95 mL aquades [16].

Hasil pengujian menunjukkan bahwa partikel alumina berbentuk oval tak beraturan dan tersebar pada matriks aluminium.

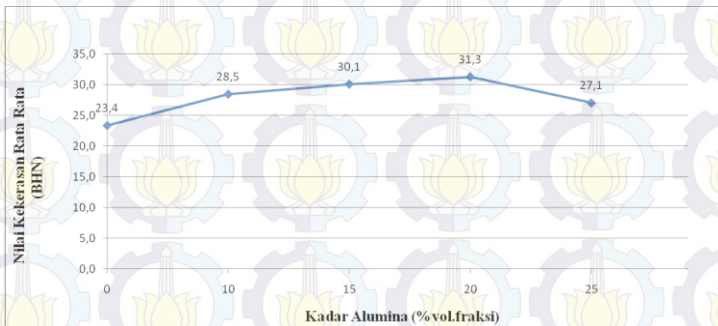
4.3 Pengujian Mekanik

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan dan Keausan

Spesimen	Volume Fraksi Alumina (%)	Nilai Uji Kekerasan			K (mm ³ /Nm)
		Titik	Nilai Uji Kekerasan	Nilai rata-rata	
1	0	1	21,8	23,4	0,000636132
		2	23,8		
		3	23,8		
		4	23,8		
		5	23,8		
2	10	1	28,4	28,5	0,000519048
		2	31,2		
		3	28,4		
		4	25,9		
		5	28,4		
3	15	1	31,2	30,1	0,000294187
		2	28,4		
		3	31,2		
		4	28,4		
		5	31,2		
4	20	1	28,4	31,3	0,000140845
		2	31,2		
		3	34,4		
		4	31,2		
		5	31,2		
5	25	1	25,9	27,1	0,000309353
		2	31,2		
		3	25,9		
		4	23,8		
		5	28,4		

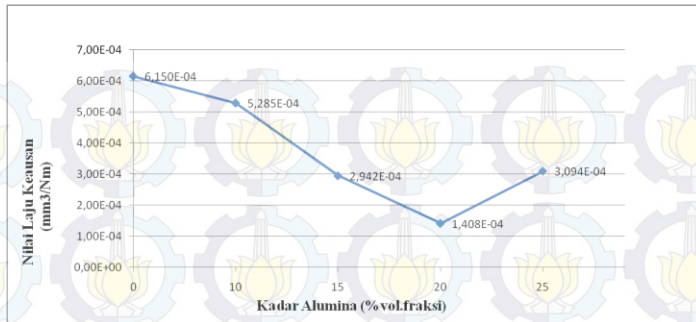


Gambar 4.3 (a) Spesimen uji kekerasan dan (b) spesimen uji keausan



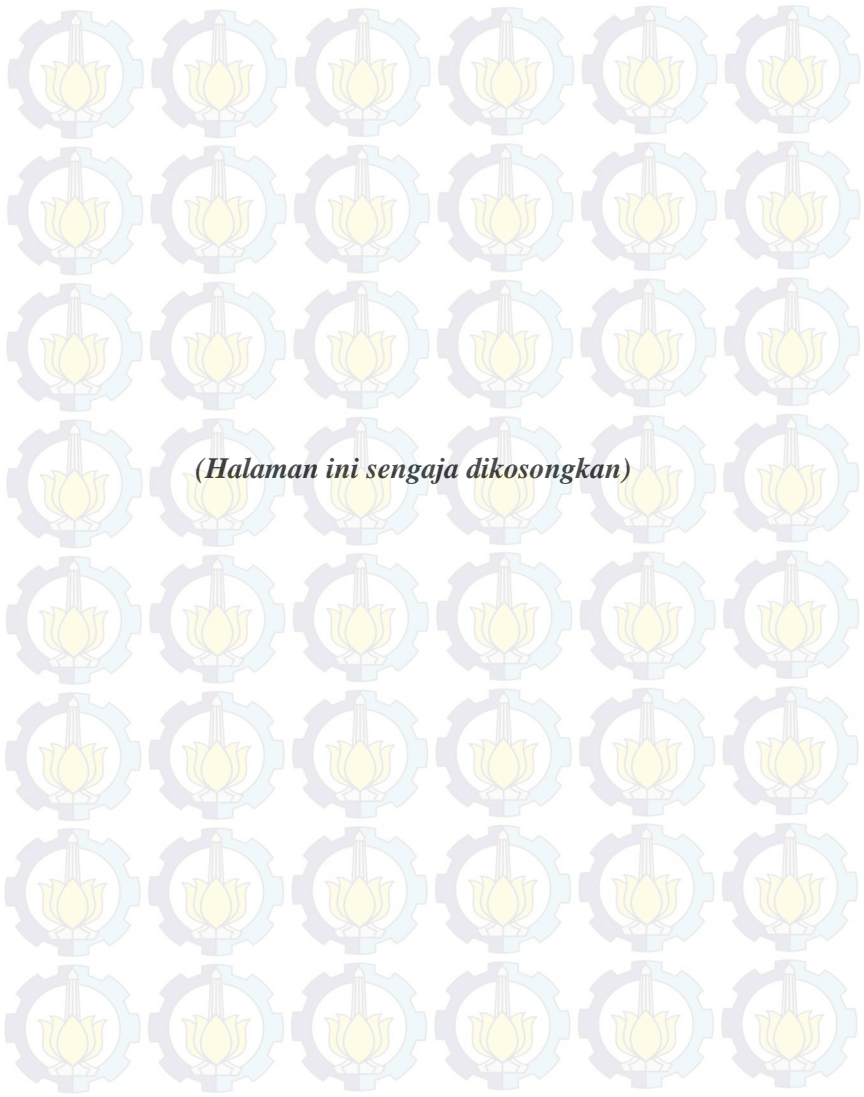
Gambar 4.4 Grafik rata-rata nilai kekerasan

Pada gambar 4.4 menjelaskan grafik hasil uji kekerasan rata-rata pada *aluminium matrix composite* berdasarkan kadar alumina per persentase volume fraksi masing-masing. Terlihat kecenderungan nilai kekerasan naik pada spesimen 1 hingga spesimen 4 yaitu kadar 0 persen sampai dengan kadar 20 persen fraksi volume alumina. Kemudian nilai kekerasan menurun pada spesimen 5 yaitu kadar 25 persen fraksi volume alumina.



Gambar 4.5 Grafik Nilai Laju Keausan

Pada grafik 4.5 menunjukkan grafik hasil pengujian keausan pada spesimen *aluminium matrix composite*. Nilai laju keausan semakin menurun sesuai dengan bertambahnya fraksi volume alumina hingga mencapai 20 persen. Pada spesimen 5 yaitu spesimen dengan kadar 25 persen fraksi volume alumina mengalami kenaikan nilai laju keausan. Semakin kecil nilai laju keausan menandakan ketahanan aus meningkat dan semakin besar nilai laju keausan menandakan ketahanan aus menurun.



BAB 5

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengujian yang telah didapatkan selanjutnya akan dijadikan sebagai pedoman untuk proses analisa selanjutnya. Analisa dimulai dari komposisi kimia matriks, kemudian dilanjutkan secara mikroskopik kemudian dihubungkan dengan sifat mekanik produk berupa kekerasan dan ketahanan aus.

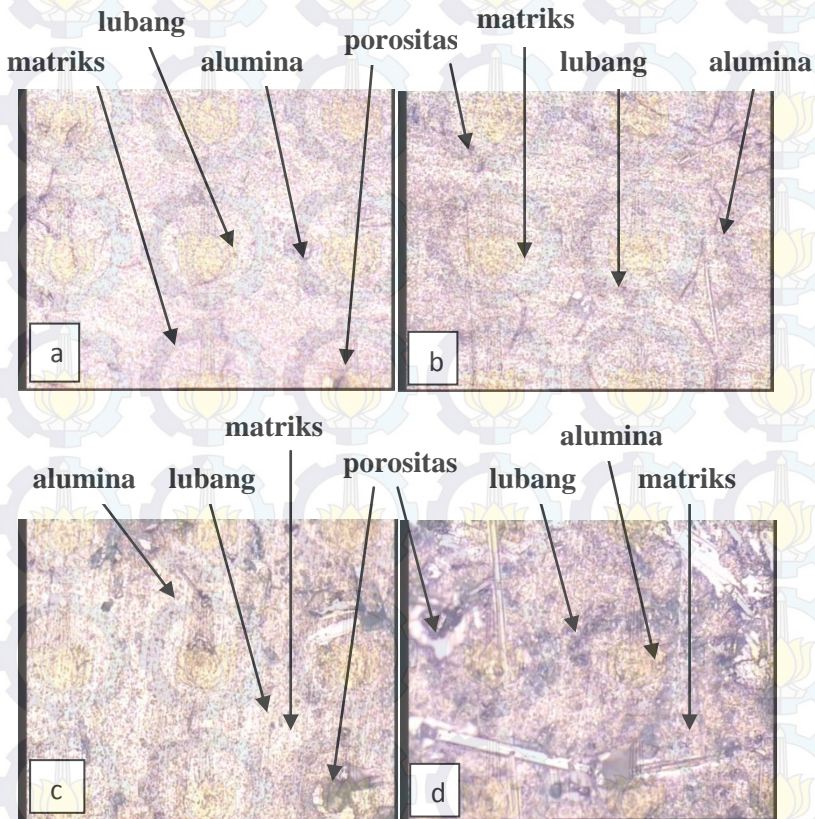
5.1 Pembahasan Komposisi Kimia Matriks

Hasil pengujian *spectrometry* pada tabel 4.1 menunjukkan kandungan unsur kimia yang terdapat pada matriks aluminium. Unsur yang terdapat pada matriks aluminium memiliki kadar 99 % Al, 0,463 % Si, 0,327 % Mg, 0,0833% Fe dan unsur lainnya seperti Ti, Cu, Mn, Ni yang berpresentase kecil. Komposisi kimia matriks yang didapatkan merujuk bahwa matriks yang digunakan merupakan aluminium seri 1100 [18] dengan kadar kemurnian aluminium yang cukup tinggi. Dengan mengetahui unsur yang terkandung didalam matriks dapat memudahkan dalam menganalisa sifat-sifat aluminium karena perbedaan kandungan unsur pada matriks akan sangat mempengaruhi sifat mekanik produk *aluminium matrix composite*. Kandungan unsur selain Al yang terdapat pada matriks merupakan *impurities* dari hasil proses pembuatan aluminium itu sendiri. Setelah diperoleh bahwa aluminium yang digunakan sebagai matriks mempunyai kadar kemurnian aluminium yang cukup tinggi, maka analisa berikutnya dapat menjadi lebih fokus pada pengaruh alumina dalam matriks aluminium. Sedangkan pengaruh alumina pada unsur lain yang terkandung dalam matriks dapat diabaikan karena presentase unsur sangat kecil.

5.2 Pembahasan Struktur Mikro

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro dengan *metallography* pada gambar 4.2 menunjukkan partikel alumina yang tersebar serta menunjukkan porositas dan lubang bekas

melekatnya alumina yang terdapat pada produk *aluminium matrix composite*. Jumlah lubang yang paling banyak terdapat pada spesimen dengan kadar presentase fraksi volume alumina sebesar 25 persen.



Gambar 5.1 Struktur mikro *Aluminium Matrix Composite* dengan (a) 10% fraksi vol. alumina, (b) 15% fraksi vol. alumina, (c) 20% fraksi vol. alumina dan (d) 25% fraksi vol.alumina

Kemungkinan terdapat lubang pada produk *aluminium matrix composite* disebabkan partikel alumina terlepas ketika

proses *machining* dan proses *grinding-polishing* menyebabkan lubang. Lepasnya alumina dari permukaan produk terjadi karena lemahnya ikatan *interface* antara alumina yang berfungsi sebagai *reinforcement* dengan aluminium yang berperan sebagai matriks. Ikatan *interface* pada *metal matrix composite* terdapat 2 macam pada dasarnya, yakni *mechanical bonding* dengan *chemical bonding*. Masing-masing memiliki pengaruh yang berbeda terhadap ikatan yang terjadi pada *interface*. Aluminium yang berfungsi sebagai matriks memiliki termal koefisien yang lebih tinggi dibandingkan dengan alumina. Sehingga aluminium mengalami penyusutan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan alumina bila didinginkan dari suhu tinggi. Hal ini menyebabkan terjadinya pencengkeraman secara mekanik oleh aluminium pada alumina. Bila dibandingkan dengan *chemical bonding*, *mechanical bonding* memiliki energi yang lebih rendah[17]. Pada penelitian ini tidak terjadi ikatan kimia, seperti pada tabel 5.1 tidak terdapat hasil reaksi *interface* pada matriks aluminium dengan penguat alumina. Minimnya ikatan kimia ini yang menyebabkan partikel alumina mudah terlepas dari permukaan matriks aluminium. Selain itu terdapat pula porositas yang terjadi karena beberapa faktor hingga menyebabkan udara terperangkap pada spesimen ketika dalam keadaan cair berubah ke keadaan padat. Jumlah porositas pada tiap spesimen dianggap sama dikarenakan temperature peleburan, waktu peleburan dan putaran pengaduk konstan selama proses pengecoran.

Tabel 5.1 Hasil reaksi *interface* pada *chemical bonding* [17]

Reinforcement	Matrix	Reaction product(s)
SiC	Ti alloy Al alloy	TiC, Ti ₃ Si ₃ Al ₄ C ₃
Al ₂ O ₃	Mg alloy	MgO, MgAl ₂ O ₄ (spinel)
Al ₂ O ₃	Al alloy	None
B	Al alloy	AlB ₂
ZrO ₂	Al alloy	ZrAl ₃
C	Al alloy	Al ₄ C ₃
C	Cu	None
W	Cu	None
NbTi Nb ₃ Sn	Cu	None
Various Oxides	Ag	None

5.3 Pengaruh Penambahan Alumina Terhadap Sifat Mekanik

5.3.1 Kekerasan

Pada Tabel 4.2 dan gambar 4.4 menunjukkan nilai kekerasan yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan Brinnel. Pada gambar 4.4 diperoleh nilai kekerasan yang meningkat dari aluminium murni dengan kadar 0 persen hingga 20 persen fraksi vol. alumina kemudian menurun pada kadar 25 persen fraksi vol. alumina. Nilai kekerasan pada produk meningkat disebabkan karena partikel alumina mengisi matriks aluminium. Partikel alumina akan mencegah terjadinya dislokasi pada matriks aluminium. Akan tetapi pada hasil pengujian nilai kekerasan pada persentase 25 fraksi volume alumina mengalami penurunan. Terjadinya penurunan nilai kekerasan ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor.

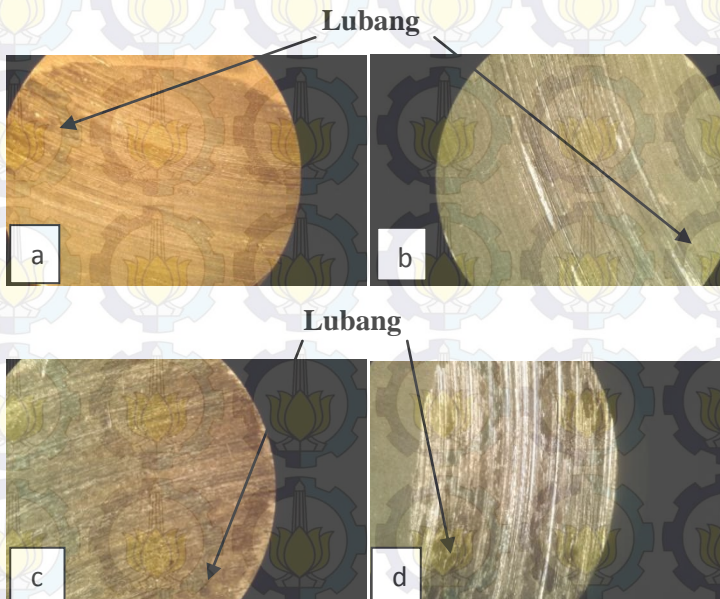
Lubang bekas melekatnya alumina pada spesimen dengan persentase kadar alumina sebesar 25 persen dapat dilihat pada gambar 5.1 lebih banyak bila dibandingkan dengan ketiga spesimen lainnya yaitu spesimen dengan kadar 10 persen, 15 persen dan 20 persen fraksi volume alumina. Semakin banyak lubang dan adanya porositas dapat menyebabkan pergerakan dislokasi matriks menjadi semakin mudah sehingga diameter hasil indentasi semakin besar. Dengan semakin membesarnya diameter hasil indentasi mengakibatkan menurunnya nilai kekerasan material tersebut

5.3.2 Keausan

Gambar 4.5 menunjukkan hasil pengujian keausan dengan metode *tribometer pin on disk* dengan kekasaran permukaan *pin* 1,21 μm dan *disk* 0,74 μm . Hasil pengujian menunjukkan nilai laju keausan semakin menurun dari aluminium murni hingga persentase 20 % alumina dan naik pada persentase 25 % volume fraksi alumina. Penurunan nilai laju keausan sendiri sesuai dengan nilai kekerasan yang telah didapatkan. Bertambahnya

presentase fraksi volume alumina akan menambah jumlah partikel alumina pada matriks aluminium. Dengan bertambahnya jumlah partikel alumina pada matriks aluminium, ikatan *interface* yang terbentuk pun semakin banyak. Ikatan *interface* dalam jumlah besar akan meningkatkan kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus dari material [19]. Pada hasil pengujian keausan ini, spesimen dengan persentase alumina sebesar 25 persen mengalami kenaikan nilai laju keausan.

Kenaikan nilai laju keausan ini disebabkan partikel alumina yang terdapat pada permukaan spesimen lepas pada saat pengujian keausan. Hal ini dapat dilihat pada gambar foto makro dibawah ini.



Gambar 5.2 Foto makro permukaan *Aluminium Matrix Composite* uji keausan dengan (a) 10% fraksi vol. alumina, (b) 15% fraksi vol. alumina, (c) 20% fraksi vol. alumina dan (d) 25% fraksi vol. alumina

Pada gambar 5.2 menunjukkan terdapat lubang bekas melekatnya pada permukaan spesimen. Lubang bekas melekatnya alumina paling banyak terdapat pada spesimen dengan presentase alumina sebesar 25 persen fraksi vol. alumina. Peningkatan persentase penguat menyebabkan alumina yang terkumpul menjadi banyak. Hal ini disebabkan gaya kohesi pada partikel alumina yang semakin besar. Dengan bertambahnya alumina yang terkumpul mengakibatkan sudut kontak matriks dengan penguat semakin besar [17]. Sudut kontak yang semakin besar mengakibatkan penurunan pada *wettability* antara aluminium dengan alumina. *Wettability* sendiri berpengaruh pada pembentukan ikatan *interface* pada *metal matrix composite*. Ikatan *interface* berfungsi untuk menyalurkan tegangan yang diterima aluminium sebagai matriks ke alumina sebagai penguat [17]. Oleh karena itu, dengan buruknya *wettability* akan menghasilkan ikatan *interface* yang buruk sehingga menyebabkan partikel alumina terlepas dari matriksnya ketika dikenai pengujian keausan. Pada gambar 5.2 juga menunjukkan nilai laju keausan spesimen dengan presentase 10 persen fraksi vol. alumina lebih besar dibandingkan dengan spesimen dengan presentase 25 persen fraksi vol. alumina, sedangkan nilai kekerasan spesimen 10 persen fraksi vol. alumina lebih besar dibandingkan dengan spesimen 25 persen fraksi vol. alumina. Hal ini disebabkan kandungan partikel alumina pada persentase 25 persen lebih banyak dibandingkan dengan persentase 10 persen fraksi vol. alumina sehingga nilai laju keausannya lebih rendah.

Lampiran

Data Hasil Pengujian

Spesimen	Volume Fraksi Alumina (%)	Nilai Uji Kekerasan			Massa Spesimen (g)			ρ (g/cm ³)	Δv (mm ³)	F (N)	L (m)	K (mm ² /Nm)
		Titik	Nilai Uji Kekerasan	Nilai rata-rata	m ₀	m ₁	Δm					
1	0	1	21,8	23,4	5,2358	5,2108	0,025	2,71	9,22509225	15	1000	0,000615006
		2	23,8									
		3	23,8									
		4	23,8									
		5	23,8									
2	10	1	28,4	28,5	6,0188	5,997	0,0218	2,75	7,92727273	15	1000	0,000528485
		2	31,2									
		3	28,4									
		4	25,9									
		5	28,4									
3	15	1	31,2	30,1	5,9106	5,8982	0,0124	2,81	4,41281139	15	1000	0,000294187
		2	28,4									
		3	31,2									
		4	28,4									
		5	31,2									
4	20	1	28,4	31,3	5,6086	5,6026	0,006	2,84	2,11267606	15	1000	0,000140845
		2	31,2									
		3	34,4									
		4	31,2									
		5	31,2									
5	25	1	25,9	27,1	6,4101	6,3972	0,0129	2,78	4,64028777	15	1000	0,000309353
		2	31,2									
		3	25,9									
		4	23,8									
		5	28,4									

BAB 6

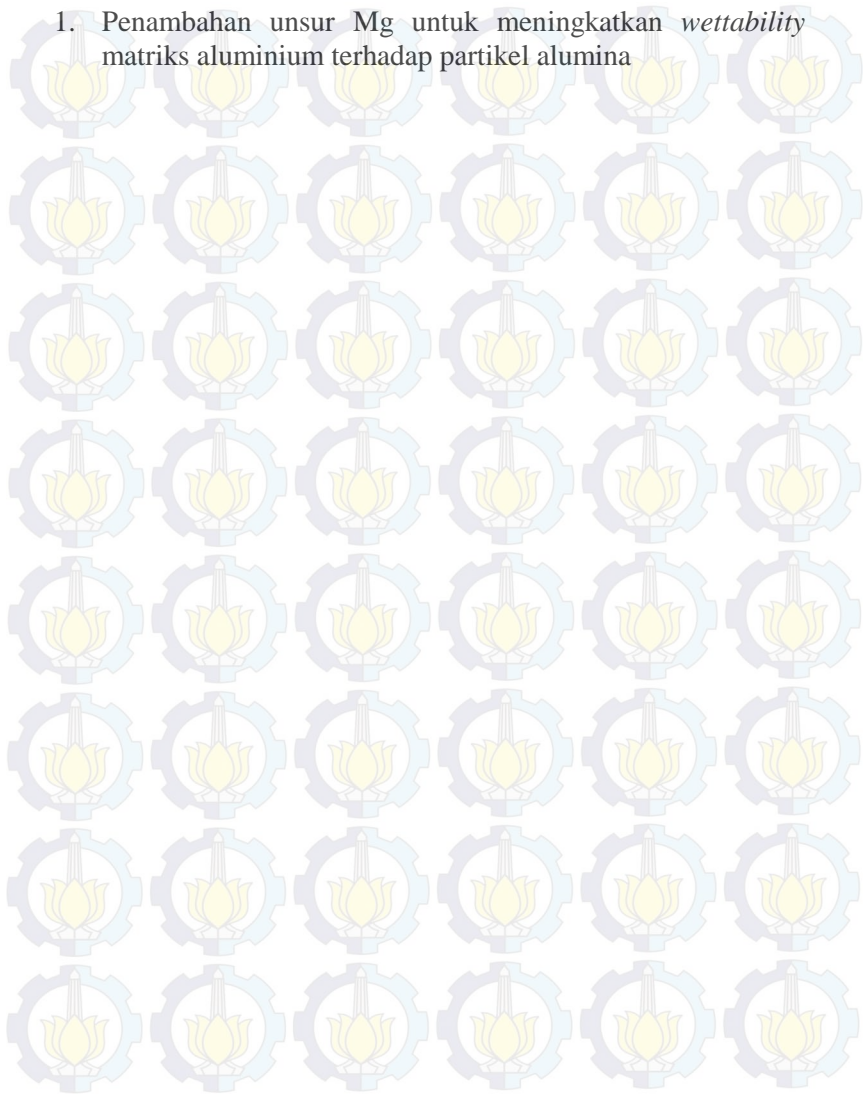
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan


1. Struktur mikro produk menunjukkan persebaran alumina pada matriks aluminium. Lubang bekas melekatnya alumina terdapat paling banyak pada spesimen dengan kadar 25 persen fraksi volume alumina.
2. Nilai kekerasan mengalami peningkatan hingga penambahan dengan kadar 20 persen fraksi volume alumina, kemudian menurun pada presentase dengan kadar 25 persen fraksi volume alumina. Peningkatan nilai kekerasan disebabkan partikel alumina yang terdapat didalam matriks aluminium mencegah terjadi dislokasi. Sedangkan faktor yang menyebabkan penurunan nilai kekerasan disebabkan lepasnya alumina pada permukaan semakin banyak pada presentase alumina dengan kadar 25 persen
3. Nilai laju keausan mengalami penurunan hingga penambahan kadar 20 persen fraksi volume alumina dan mengalami peningkatan laju keausan pada presentase dengan kadar 25 persen fraksi volume alumina. Peningkatan laju keausan disebabkan alumina yang terlepas dari matriks aluminium. Faktor yang menyebabkan menurunnya laju keausan disebabkan banyaknya ikatan *interface* yang terbentuk sehingga meningkatkan ketahanan aus material
4. Nilai kekerasan paling tinggi terdapat pada tingkat volume 20 persen alumina dengan nilai rata- rata sebesar 31,3 HBN dan nilai laju keausan paling rendah terdapat pada tingkat volume 20 persen alumina sebesar $0,000982263 \text{ mm}^3/\text{Nm}$

6.2 Saran

1. Penambahan unsur Mg untuk meningkatkan *wettability* matriks aluminium terhadap partikel alumina



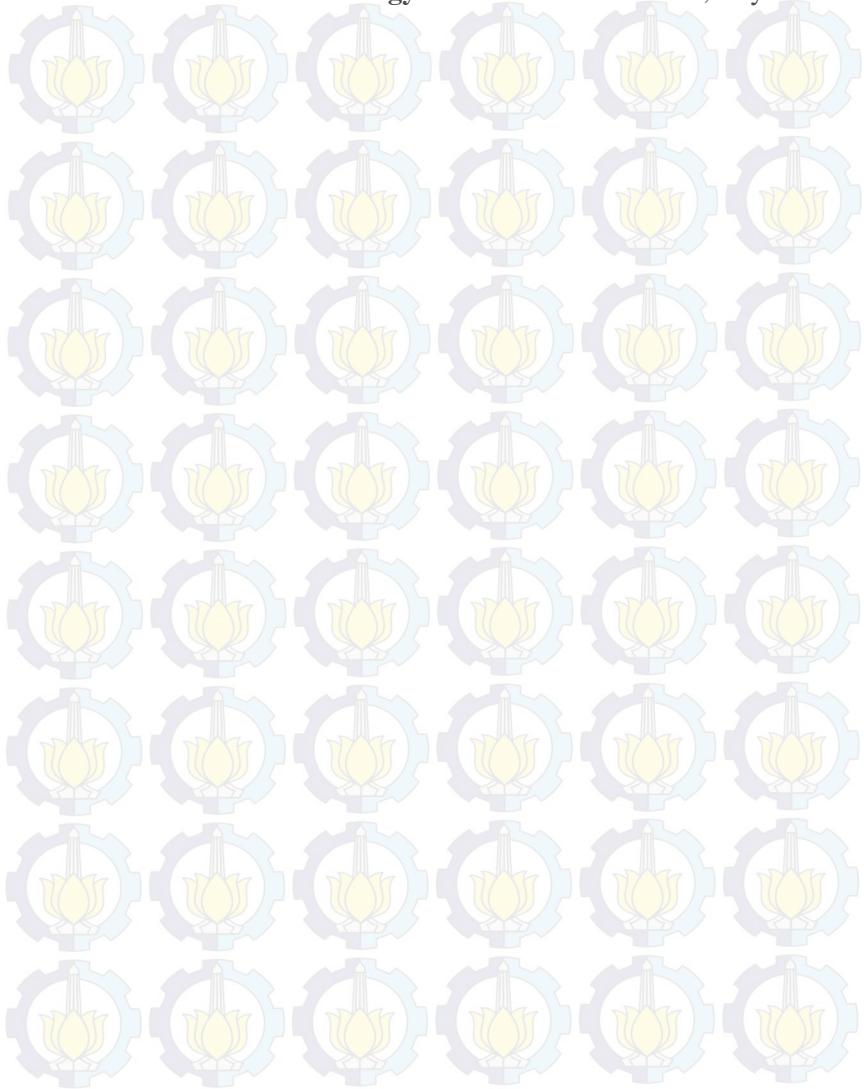
DAFTAR PUSTAKA

- 
- [1] Nashier Effendy, Fuad., 2013. *STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PRESENTASE FRAKSI VOLUME PENGUAT ALUMINA TERHADAP SIFAT MEKANIK ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE YANG DIPRODUKSI DENGAN METODE STIR CASTING*. Teknik Mesin Institiut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [2] Kartamana, Maman., 2010. *FABRIKASI KOMPOSIT*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- [3] Nayiroh, Nurun., 2013. **Teknologi Material Komposit**. <URL:<http://blog.uin-malang.ac.id/nurun/files/2013/03/Teknologi-Komposit.pdf>
- [4] Rahman. A. Hastya., 2013. *STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME ABU TERBANG (FLY ASH) TERHADAP KARAKTERISTIK FLUIDITAS DAN SIFAT MEKANIK ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [5] R. Montanari., 2009. “ *Chapter 1 Metal Matrix Composites*”.
- [6] Parvin-Rahimian., 2011. “*The Characteristics Of Alumina Particle Reinforced Pure Al Matrix Composite*”. **Proceeding of the International Congress on Advance in Applied Physics and Materials Science, Antalaya 2011**. Amirkabir University of Technology
- [7] Karl Ulrich. Kainer., “ *Basic Of Metal Matrix Composite*”.
- [8] Tot ten. E. George., 2003. **Aluminium Handbook vol 1 Physical Metallurgy AndProceeses**”.
- [9] *Chapter 2*. Universitas Sumatera Utara
- [10] R. Suresh dan Kumar.Prasanna.M., 2013. “ *Investigation of Tribological Behavior And Its Relation With Processing And Microstructures of Al6061 Metal Matrix Composite*”. Departement of Mechanical Engineering Bapuji

Institute of Engineering and Technology.

- [11] C. Honnaiah, Kumar. Ashok and Prasad.Ajit., 2014. “*Evaluation of Tribological Properties of A356-Al₂O₃ Metal Matrix Composites*”. **Proceeding to International Journal Of Mechanical Engineering and Robotics Research. April 2014.** India
- [12] Kumar. Veeresh, Rao .C. S.P, Selvaraj. N and Bhagyashekar., 2010. “*Studies on Al6061-SiC and Al7075-Al₂O₃ Metal Matrix Composites*”. India
- [13] Solichin. M.,2012. “*Studi Eksperimental Laju Keausan antara Ultra High Molecular Weight Polyethylene dengan Stainless Steel Sebagai Sendi Lutut Buatan Manusia*”. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- [14] Rakhon. Lathad and Dr. G. K. Purohit.,2013.”*A Study of Microstructure and Mechanical Property of Aluminium-Alumina Metal Matrix* “. PDA College of Engineering Gulbarga India
- [15] S.A Sajjadi, “*Comparison of microstructure and mechanical properties of A356 aluminum alloy/Al₂O₃ composites fabricated by stir and compo-casting processes*”, Department of Materials Science and Metallurgical Engineering, Engineering Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 2012.
- [16] Vander Voort, George F.,1999.”*Metallography Principles and Practice.*”, ASM International
- [17] Chawla, Nikilesh, “*Metal Matrix Composite*”, Arizona State University, Tempe, Springer : 2006
- [18] Cubberly, William F.,1999 “*Metals Handbook Ninth Edition Volume 2 Properties and Selection : Nonferrous Alloy an Pure Metals*”, ASM., Ohio
- [19] C.Honnaiah.,2014.,”*Effect of Particle Size on Dry Sliding Wear of Cast A356-Al₂O₃ Metal Matrix Composite*”,

**Proceeding to International Journal of Engineering
Trends and Technology-Volume 12 Number 9.,Juny 2014.**



BIODATA PENULIS



Krisna Bilal Arief dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 05 Agustus 1991. Anak bungsu dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan penulis dimulai di TK Liya Surabaya (1995-1997), SDN Ketabang I/288 Surabaya (1997-2003), SMPN 22 Surabaya (2003-2006), SMAN 15 Surabaya (2006-2009), dan dilanjutkan di Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui SNMPTN reguler.

Di Jurusan Teknik Mesin ini Penulis mengambil Bidang Studi Metalurgi. Penulis sempat aktif di kegiatan organisasi yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Mesin sebagai Ketua Advance Leadership Training 2012, Steering Committee POROS 2011 dan 2012 serta Seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan. Penulis juga aktif sebagai asisten dalam Praktikum Metalurgi serta diamanahi sebagai Koordinator Laboratorium Metalurgi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)